

# Schlussbericht des Teilvorhabens RUBIN-ISC-X

In Anlehnung an NKBF 2017

Titel

RUBIN – REGIONALE UNTERNEHMERISCHE BÜNDNISSE FÜR INNOVATIONRUBIN

ISC – Industriestandard Carbonbeton – VP1

X (TP10): Technologieentwicklung zur reproduzierbaren Umformung von Carbonbewehrungen

Zuwendungsempfänger (ZE): Johne & Groß GmbH

Förderkennzeichen: 03RU1U031K

Vorhabenbezeichnung: RUBIN-ISC-X

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 – 31.12.2024

Dokumentationszeitraum: 01.01.2022 – 31.12.2024

Autoren: Dr.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

„Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor“

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## I. Kurzdarstellung des Projektes

### I.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Teilvorhabens RUBIN-ISC-X der J&G mit dem Titel „Demonstrative Technologieentwicklung für die reproduzierbare Umformung von Carbonbewehrungen“ sollen messtechnisch ausgestattete Verfahrensdemonstratoren entwickelt werden. Diese ermöglichen die thermische Umformung von Carbonbewehrung mit variabler Geometrie. Ein zentraler Aspekt des Vorhabens ist die kontrollierte Reproduktion der umgeformten Bewehrungselemente in gleichbleibender Qualität, um gemeinsam mit den regionalen Verbundpartnern einen Industriestandard für Carbonbeton zu etablieren.

### I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Johne & Groß GmbH ist eine etablierte Stahlbewehrungsbiegerei, die seit 2021 ihr Produktportfolio um nichtmetallische Formbewehrungen erweitert und aktiv an deren Entwicklung forscht. Als Teil der Zulieferindustrie für den Betonbau verfügt J&G über ein weitreichendes Netzwerk, das die Bewertung und Erprobung neuartiger Bewehrungsprodukte ermöglicht. Ergänzend zur Bewehrungsfertigung bietet J&G auch die Bemessung nichtmetallisch bewehrter Betonbauteile sowie die Bewehrungsplanung an.

Das Unternehmen zeichnet sich durch ein qualifiziertes Team aus, bestehend aus vier Ingenieuren, einem Meister und über 40 gewerblichen Mitarbeitenden mit langjähriger Erfahrung im Bewehrungsbau. Ein spezialisiertes F&E-Team aus drei Entwicklungsingenieuren unterstützt die Innovationsarbeit und bringt umfassende Kenntnisse in interdisziplinärem Strukturleichtbau sowie der Bemessung von Betonbauteilen mit.

Am Standort Schwepnitz stehen umfangreiche Flächen und technische Ausrüstungen zur Verfügung, um Probekörper zu konfektionieren und Demonstratoren zu realisieren.

### I.3 Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist wie geplant durchgeführt worden. Der Projektzeitraum war vom 01.01.2022 bis 31.12.2024.

Das Teilvorhaben der J&G wurde entsprechend den Hauptaktivitäten in Arbeitspakete gegliedert, welche, wie in der Teilvorhabenbeschreibung festgelegt, bearbeitet wurden. Eine ausführliche Auflistung erfolgt unter Abschnitt II.1.

### I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

#### **Stand der Wissenschaft und Technik**

Zu Projektbeginn existierten bewährte Verfahren zur Formgebung von Bewehrungsstrukturen und Kunststoffen, die jedoch unabhängig voneinander optimiert wurden. Im klassischen Bewehrungsbau kommen Bügelbiegeautomaten und Schwenkbiegemaschinen zur mechanischen Umformung metallischer Bewehrungen zum Einsatz. Thermoplastisch gebundene Carbonbewehrung hingegen erfordert eine thermische Erwärmung für eine schadensfreie Umformung, da die Matrix bei Normaltemperatur spröde ist. Thermoformen, Warmformen und punktuelleres Biegen ermöglichen hierbei präzise Anpassungen, wobei Heizelemente wie Infrarotstrahler oder Glühdrähte gezielt zur Erwärmung genutzt werden.

Experimentelle Voruntersuchungen der J&G zeigten vor Projektbeginn, dass zwar händische Umformungen möglich sind, jedoch eine maschinelle Integration von Erwärmung, Arretierung und Abkühlung erforderlich ist, um reproduzierbare Ergebnisse sicherzustellen. Zusätzlich bedarf es einer qualitativen Überwachung der Einzelprozesse, um standardisierte Fertigungsabläufe zu gewährleisten.

Bestehende Konkurrenzverfahren, wie jene der Solidian GmbH, setzen auf duroplastische Matrices, die nachträglich nicht umformbar sind und hohe Produktions- sowie Transportkosten verursachen. Thermoplastische Matrices hingegen ermöglichen eine regionale und flexible Umformung, wodurch Kosten gesenkt und neue Marktpotenziale erschlossen werden – analog zur heutigen Stahlbewehrungsfertigung.

### **Bisherige Arbeiten der Antragsteller**

Die J&G verfügt über umfassendes Know-how in der Bewehrungsherstellung und hat bereits erste Projekte mit textiler Bewehrung erfolgreich realisiert. Im Rahmen der F&E-Projekte antex (2017–2019) und C<sup>3</sup>-V4.15 (2018–2020) wurden innovative Verfahren zur Herstellung anorganisch gebundener Carbonfaserbewehrungen entwickelt und getestet. Die Projektergebnisse umfassen die robotergestützte Ablage von Bewehrungsstrukturen sowie die Betonierung von Demonstratoren mit Carbonfaserstäben. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Weiterentwicklung praxistauglicher Fertigungsverfahren.

## **I.5 Wesentliche Ergebnisse**

Das F&E-Projekt ISC war für die J&G ein voller Erfolg – es wurden nicht nur die ursprünglich definierten Forschungs- und Entwicklungsziele erreicht, sondern auch darüber hinausgehende Fortschritte erzielt. Die primären Ziele umfassten die Entwicklung einer reproduzierbaren Umformtechnologie für thermoplastisch gebundene Carbonbewehrung. Gemeinsam mit den Partnern IMB und CC wurden Materialprüfberichte zur entstandenen Bewehrung erarbeitet. Dazu gehörten die Technologieerprobung durch J&G, die gemeinsame Planung und Durchführung experimenteller Versuche mit dem IMB sowie die Erstellung der Prüfberichte durch J&G mit Unterstützung von CC und IMB.

Über die ursprünglichen Zielsetzungen hinaus wurden weitere bedeutende Entwicklungen realisiert:

- Erfahrungen aus den Masterelementen und Prototypen aller Partner,
- Ergebnisse aus der Herstellung der J&G-eigenen Prototypen, insbesondere der biegesteifen Ecken,
- Entwicklung und prototypische Herstellung thermoformbarer CFK-Bewehrungsstäbe im Rahmen des ISC,
- Entwicklung und Erprobung von CFK-Abhebe- und Transportankern, basierend auf den thermoformbaren CFK-Bewehrungsstäben von J&G, angepasst an die Bedürfnisse der Bündnispartner.

## **I.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Zusammenarbeit mit Partnern innerhalb und außerhalb des Verbundvorhabens ist detailliert in der Verbundvorhabenbeschreibung dargelegt.

Bestehende Schutzrechte und Erfindungen nehmen eine Sonderstellung ein und werden unter Berücksichtigung der Kooperationsvereinbarung den Partnern zur Nutzung angeboten. Diese Vereinbarung regelt die Zusammenarbeit sowie die Rechte und Pflichten aller am Teilvorhaben beteiligten Partner.

Bei der Ausgestaltung des Kooperationsvertrags mit den Verbundpartnern werden die Vorgaben des Gemeinschaftsrahmens der Europäischen Kommission für staatliche F&E&I-Beihilfen eingehalten. Zudem besteht eine grundsätzliche Übereinkunft zu den wesentlichen Vertragsinhalten gemäß dem BMBF-„Merkblatt für Antragsteller/Zuwendungsempfänger zur Zusammenarbeit der Partner von Verbundprojekten“ (Merkblatt 0110).

## II. Eingehende Darstellung des Projektes

### II.1 Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse in Gegenüberstellung der Ziele

#### **Erarbeitung des Ist-Zustandes der Carbonbewehrung - Stäbe und Gitter | A 1.1.1.1**

Eine IST-Analyse des Marktangebots für nichtmetallische Bewehrung wurde durchgeführt. Dabei wurden sämtliche physikalischen und ökonomischen Parameter erfasst und daraus mechanisch-ökonomische Verhältnisse abgeleitet. Diese dienen als Grundlage für einen Verhältnisvergleich nichtmetallischer Bewehrungselemente unter mechanischen und wirtschaftlichen Aspekten.

Das Ziel wurde innerhalb des Zeitraums erreicht.

#### **Evaluierung des Bauteilkataloges hinsichtlich der technisch möglichen Umsetzbarkeit der Bewehrungskonstruktionen | A 1.1.2.3**

Die vom IMB und K&T definierten und zeichnerisch dargestellten Bauteile wurden für die Analyse der technischen Umsetzbarkeit sowie zur Einschätzung der statischen Relevanz hinsichtlich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit durch eigene zeichnerische Darstellungen ergänzt und entsprechend evaluiert.

Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass der Einsatz von thermoplastischer Carbonstab- und -gitterbewehrung insbesondere in folgenden Bereichen sinnvoll ist:

- Bauteilen mit Querkraftbeanspruchung,
- Bauteilquerschnitten, in denen der Kraftfluss mit Stabwerkmodellen beschrieben werden kann,
- Halbfertigteilbauteilen als Anschlussbewehrung sowie
- gebogenen oder gewölbten Bauteilen.

Das Ziel wurde innerhalb des Zeitraums erreicht.

#### **Definition von Anforderungen für die umgeformten Bewehrungselemente im BIM-Modul | A 1.4.1.3**

Zur Definition der Anforderungen für umgeformte Carbonbewehrungselemente wurde ein Prozessablaufdiagramm erstellt. Dieses erfasst die Prozessparameter zur Herstellung und Fertigung von CFK-Gittern und CFK-Stäben und bietet gleichzeitig eine Lösung zur Vermeidung redundanter Dateneingaben.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

#### **Handlungsempfehlungen für Transport, Weiterverarbeitung und Einbau von Carbonbewehrungskonstruktionen | A 2.1.2.1**

Die Handlungsempfehlungen für den Transport, die Weiterverarbeitung und den Einbau von Carbonbewehrungskonstruktionen wurden erfolgreich erarbeitet und basieren auf realen Praxiserfahrungen. Dabei wurde sichergestellt, dass die Maßgenauigkeit in Planung, Zuschnitt und Umformung konsequent berücksichtigt wird – einschließlich unterschiedlicher Maschenweiten von Standardgittern.

Für den Transport wurden geeignete Schutzmaßnahmen wie Holz-Wellpappe-Konstruktionen oder Abdeckfolien entwickelt und getestet, um die Geometrie der Bewehrung zu sichern und Witterungseinflüsse zu minimieren. Zudem wurden standardisierte Formbewehrungsgeometrien mit definierten Schenkellängen und Nachverankerungen implementiert, um Herstellungskosten zu senken und den Transport zu vereinfachen.

Durch diese Maßnahmen konnte der bislang hohe manuelle Arbeitsaufwand erheblich reduziert und die Prozesse effizienter gestaltet werden.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

### **Erweiterung bzw. Anpassung der Handlungsempfehlung für Bewehrungselementen und -konstruktionen in Ortbetonbauweise | A 2.1.3.1**

Die Handlungsempfehlungen der J&G sind umfassend in Abschnitt 3.2.3 des Arbeitspapiers „Herstellung“ eingeflossen. Dieser Abschnitt wurde hauptverantwortlich von J&G erstellt, mit Unterstützung des Partners CC.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

### **Anforderungen an Abstandhalter und Verbindungselemente | A 2.2.1.4**

Nach der gemeinsamen Definition der Anforderungen an Abstandhalter und Verbindungselemente mit den Partnern hat J&G über das ursprüngliche Aktivitätsziel hinaus CFK-Transport- und Abhebeanker entwickelt. Diese wurden in der Praxis durch das BWO getestet und im Labor vom IMB geprüft.

Die Prüfergebnisse wurden anschließend von J&G in einem Prüfbericht ausgewertet und werden künftig als Dateninformationsblatt für alle Interessenten zum Download auf der J&G-Website bereitgestellt.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

### **Definition von Anforderungen für die Bewehrungselemente hinsichtlich der speziellen Randbedingungen in den einzelnen Fertigteilwerken | A 2.2.2.1**

Nachfolgend ist eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse dargestellt.

Allgemeine Anforderungen an die Bewehrung sind:

- Stapel- und Transportfähigkeit ohne Schäden.
- Temperaturresistenz von -20°C bis +40°C; UV- und Witterungsschutz erforderlich.
- Eigensteifigkeit zur Reduktion von Abstandhaltern, manuelle/maschinelle Verarbeitbarkeit.
- Robustheit gegenüber Betonieren, Verdichten, und Nachbehandlung (Tempern, Wasserbad).

Empfohlene Positionierungshilfen je Fertigteilwerk im Bündnis:

- Ib (gekrümmte und räumliche Flächentragwerke – 3D individuelle Bauteile): Geeignet für 2,5D-Schalen und Plattentragwerke; 3D-gedruckte Systeme und Ringabstandshalter empfohlen.
- BWO (flächige Massenbauteile – 2D Massenbauteile): Fokus auf serielle Massenproduktion flächiger Bauteile; Gridfix-System empfohlen.
- HfB (Scheiben und Platten – 2D-Bauteile Einzelanfertigung): Laminierverfahren empfohlen.

Die Ergebnisse wurden in das Arbeitspapier „Herstellung“ integriert (siehe Abschnitte 2.1 und 2.3.4). Die Erstellung des übergeordneten Abschnitts 2.3 lag in der Hauptverantwortung von J&G.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

#### **Konzepte zur Prüfung und Überwachung bei der Herstellung der Bewehrungskonstruktion | A 2.3.4.6**

Zur Qualitätssicherung wurden folgende Kontrollmaßnahmen definiert:

- Winkelkontrolle: Überprüfung des Maschinenwinkels während der Fertigung mit einem Metallwinkelmesser sowie nachträgliche Prüfung mit Querschnittsschablonen.
- Temperaturüberwachung: Kontrolle der Umgebungstemperatur mittels Thermometer; optionale Erwärmung durch IR-Strahler oder integrierte Wärmequellen.
- Umformgeschwindigkeit: Begrenzung aus Sicherheitsgründen; zusätzliche Schutzmaßnahmen derzeit nicht vorgesehen.
- Erwärmungszeit: Steuerung über einen konstanten Countdown unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur.
- Schenkellänge: Einstellung mittels Maßbändern, Überprüfung mit Schablonen.
- Diese Maßnahmen gewährleisten Präzision und Sicherheit während der Fertigung. Das vollständige Aktivitätsdokument ist intern hinterlegt.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

#### **Entwicklung, Erprobung und Evaluation verschiedener Erwärmungs- und Abkühlkonzepte | A 2.4.1.1**

Für die Umformung thermoplastisch gebundener Bewehrung ist ein lokales Aufschmelzen der Beschichtung erforderlich. Basierend auf Verfahren aus der kunststoffverarbeitenden Industrie wurden zunächst verschiedene Umformtechnologien – Heizdraht, Infrarot und Induktion – identifiziert und analysiert.

Zudem wurden die geometrischen und physikalischen Anforderungen an das Heizsystem definiert. Auf dieser Grundlage konnte ein Vorzugsheizsystem erfolgreich entwickelt und erprobt werden.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

#### **Entwicklung, Erprobung und Evaluation verschiedener Fertigungskonzepte zur Umlenkung | A 2.4.1.2**

Die Umformung erfolgt im lokal aufgeschmolzenen Bereich der Bewehrung. Dafür wurden verschiedene Umformverfahren aus der Kunststoffindustrie identifiziert und analysiert.

Als Vorzugsvariante wurde das Positivformen über eine Biegematrix festgelegt. Dieses Verfahren wurde mit verschiedenen metallischen Werkstoffen und Querschnittsformen erprobt und evaluiert.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

#### **Entwicklung, Erprobung und Evaluation verschiedener Zufuhr- und Zuschnittkonzepte | A 2.4.1.3**

Verschiedene Zufuhr- und Zuschnittkonzepte wurden recherchiert und analysiert. Die Möglichkeiten zur Bearbeitung nichtmetallischer Bewehrungsmaterialien mit unterschiedlichen Zuschnittverfahren sind ausführlich im Abschnitt „Bewehrung“ des Arbeitspapiers „Herstellung“ dokumentiert. Dieses wurde hauptverantwortlich von J&G erstellt.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

## Kombination der einzelnen Verfahrensschritte zu einer Prozesskette, Erprobung und Evaluation der Prozesskette | A 2.4.1.4

Die Prozesskette umfasst die Fertigung von CFK-Formbewehrung, wobei verschiedene Verfahrensschritte erprobt und optimiert wurden:

### Formstabfertigung (Bügefertigung)

- Zuschneiden und Anzeichnen der Stäbe erfolgt separat.
- Exakte Schenkellängen werden über Markierungen auf Stab und Matrize eingestellt.
- Die Umformung erfolgt mit Standardbiegerollen und einer anschlagbasierten Winkelkontrolle.

### Weiterentwicklung und Herausforderungen

- Optimierung der Klemmung durch Anpassung der Vorstreckkraft und den Einsatz von Mehrfachklemmsystemen.
- Verbesserung der Matrizen, z. B. durch Vertiefungen zur Querschnittserhaltung während der Umformung.
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch parallele Umformung mehrerer Stäbe.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

## Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Messverfahrens zur Einhaltung qualitativer Anforderungen | A 2.4.1.6

Diese Maßnahmen gewährleisten eine hohe Qualität in Bezug auf Geometrie, Materialeigenschaften und den Fertigungsprozess.

### Geometrieüberwachung

- Originalmaßstab-Schablonen aus Holzrahmen oder Anzeichnungen auf Wellpappe, Holz oder Stahl sichern die Produktqualität.
- Beste Ergebnisse werden bei Negativformen und Steckelementen erzielt, insbesondere bei zusammengesteckten Netzgitterträgern.

### Materialeigenschaften

- Vergleichende Zugversuche an geraden und umgeformten CFK-Elementen ohne Betonverbund ermöglichen eine schnelle und kosteneffiziente Kontrolle der Umformprozesse.

### Prozessüberwachung

- Die Temperaturregulation an der Umformmaschine eliminiert effektiv Umwelteinflüsse.
- Bei kalten Anlagenkonstruktionen ermöglichen Probeversuche die Anpassung von Schenkellängen, Biegewinkeln und komplexen Geometrien (z. B. U-Profile).

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

## Entwicklung und Herstellung der Bewehrungskonstruktion | A 2.4.2.1

Die 2022 begonnenen Untersuchungen zur Festigkeit von CFK-Formgittern wurden in den Jahren 2023 und 2024 erheblich erweitert. Insgesamt fertigte J&G 160 umgeformte Garnprüfkörper, die anschließend vom IMB geprüft wurden. Erste Ergebnisse wurden auf den C<sup>3</sup>-Tagen 2023 vorgestellt und veröffentlicht.

Die Versuche orientierten sich an der DAfStb-Richtlinie für nichtmetallische Bewehrung und umfassten:

- Bestimmung der Kurzzeit-Zugfestigkeit unter Berücksichtigung des Biegerolldurchmessers.

- Analyse des Einflusses der Verankerungslänge (10 mm) auf die Zugkraftübertragung im Betonverbund.
- Die Ergebnisse zeigen, dass die Festigkeit der Formgitter maßgeblich vom Biegerollendurchmesser abhängt. Diese Erkenntnisse markieren einen Durchbruch in der Entwicklung der Umformtechnologie und sind entscheidend für die Leistungsbewertung von CFK-Formgittern.

Ein interner Prüfbericht zu den CFK-Formgittern liegt vor, und weitere Veröffentlichungen sind in Abstimmung. Die Ergebnisse wurden zudem analog mit geraden und umgeformten CFK-Formstäben der J&G erzielt.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

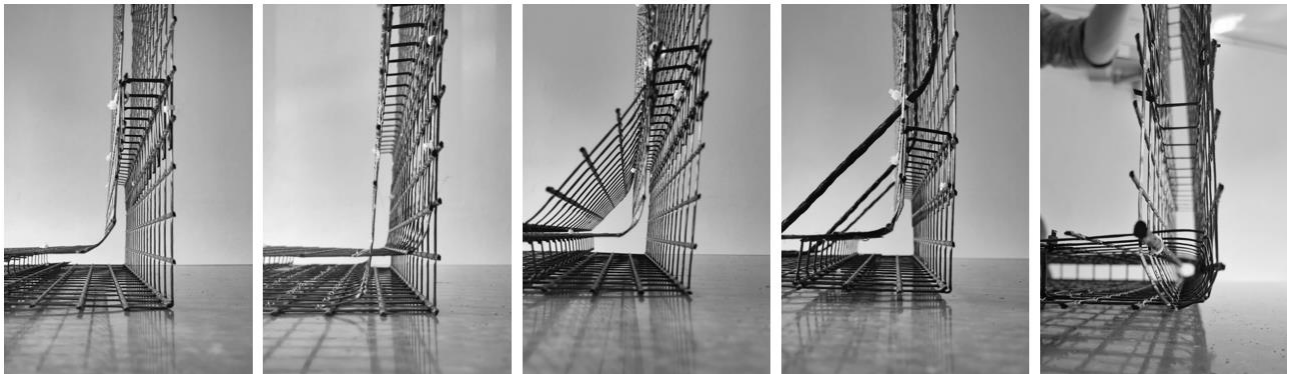
### Entwicklung und Herstellung der Bewehrungskonstruktion | A 2.4.3.2

Zur Beurteilung der Formbewehrung in ausgewählten Bauteilen wurden sogenannte biegesteife Ecken mit sieben verschiedenen Bewehrungsvarianten von J&G geplant. Die Bewehrung wurde umgeformt, zu einem Bewehrungskorb zusammengebaut und das Betonbauteil anschließend gemeinsam mit dem Partner ib hergestellt.

Nachfolgend wurde das Bauteil:

- vom IMB geprüft,
- von J&G hinsichtlich physikalischer und ökonomischer Leistungsfähigkeit ausgewertet und bewertet.

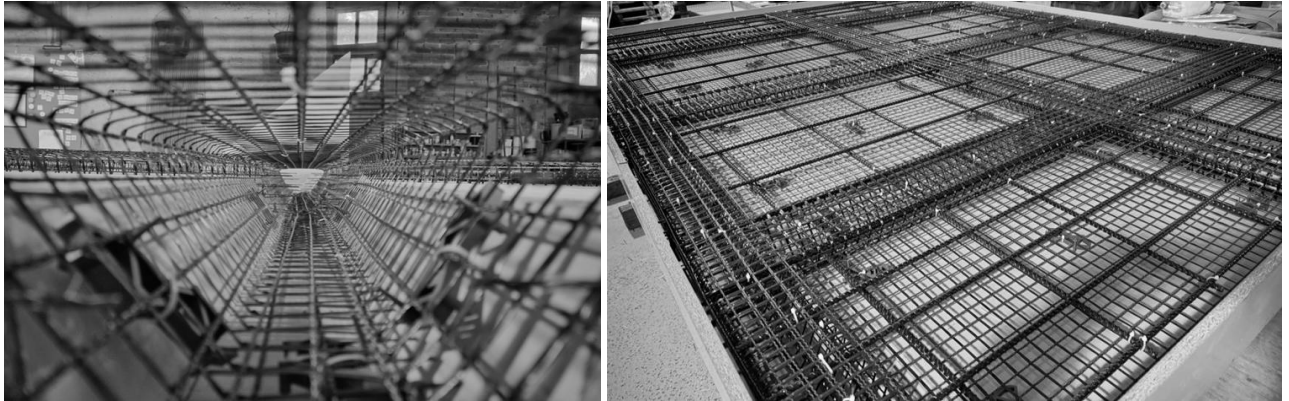
Der Prüfbericht ist den Handlungsempfehlungen beigefügt und liegt J&G-intern zusammen mit der ökonomischen Bewertung vor.



Das Ziel wurde innerhalb des Zeitraums erreicht.

### Entwicklung der Bewehrungskonstruktionen für Prototypen | A 2.5.1.3

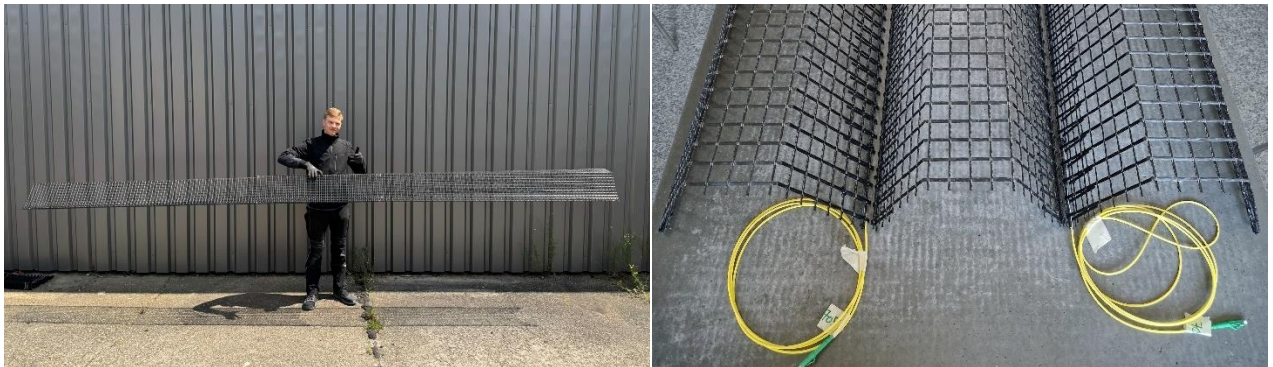
Die CFK-Bewehrungskonstruktion für die Herstellung von Carbonbetonfertigteilen – konkret für die beiden ISC-Modulbrückenelemente – wurde auf Basis der Pläne des Bündnispartners CC gefertigt.



Das Ziel wurde innerhalb des Zeitraums erreicht.

### Entwicklung der Bewehrungskonstruktionen für Prototypen | A 2.6.1.2

Die CFK-Bewehrungskonstruktion für die Herstellung von Carbonbetonhalbfertigteilen – konkret für die neun ISC-Netzgitterträger – wurde auf Basis der Pläne des Bündnispartners IMB gefertigt. Zudem wurde an zwei von sechs J&G-CFK-Formstäben eine faseroptische Messensorik angebracht.



Das Ziel wurde innerhalb des Zeitraums erreicht.

### Herstellung der Bewehrungskonstruktion für das Masterelement | A 4.2.1.3

Im Rahmen des Netzgitterträgers mit J&G-CFK-Formbewehrung wurde der Querschnitt an die vom IMB vorgegebenen Dimensionen angepasst.

Für das Masterelement Hochbau wurden die konstruktiven Lösungen auf Basis der Erkenntnisse aus A 2.4.3.2 und A 2.5.1.3 entwickelt – vorrangig in Zusammenarbeit mit den Bündnispartnern IBB, K&T und BWO.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

### Herstellung einer beispielhaften Struktur zur Veranschaulichung der Fertigungstechnik | A 5.2.2.1

Eine der Varianten der biegesteifen Ecken aus A 2.4.3.2 wurde im Maßstab 1:1 als Winkelstütze in Realgröße umgesetzt. Dies dient der Veranschaulichung der Fertigungstechnologie und als Demonstrationsobjekt für interessierte Fertigteilwerke.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

## Herstellung der Bewehrung angepasst an die Anforderungen des Prototypens | A 5.2.4.2

Die Technologie zur Umsetzung freier Formen in Bewehrungskonstruktionen führte in Zusammenarbeit mit dem Partner ib zu Herstellungsversuchen an folgenden Bauteilen:

- NetzGT – Herstellungsversuche zur Optimierung der Netzgitterträger.
- Stuhl 1 – Freischwinger vor CUBE, Umsetzung einer geschwungenen biegesteifen Ecke.
- Stuhl 2 – Kostengünstige Umsetzung einer kantigen biegesteifen Ecke.
- Windrad – Zylinderförmiger Fußteil mit thermoformbarer Bewehrung; Windradblätter mit handlaminiertes, nicht thermoformbarer Bewehrung.

Das Ziel wurde innerhalb des geplanten Zeitraums erfolgreich erreicht.

## II.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der Ausgabenplan wurde mit geringfügigen Abweichungen eingehalten. Reisekosten, die ursprünglich von J&G eingeplant waren, wurden nicht vollständig in Anspruch genommen. Ebenso entfielen geplante Kosten für FE-Fremdleistungen. Stattdessen wurden diese Mittel in die Entwicklung eines prototypischen Verfahrens zur Herstellung gerader, thermoformbarer CFK-Bewehrungsstäbe für labortechnische Untersuchungen investiert. Diese Entwicklung war ursprünglich nicht vorgesehen, erwies sich im Verlauf des Projekts jedoch als zwingend notwendig für eine zielführende Umsetzung des gesamten FuE-Vorhabens.

Die Materialkosten lagen deutlich über den ursprünglichen Planungen. Ursache hierfür waren umfangreiche labortechnische Untersuchungen zur Erprobung von Formbewehrungselementen (Gitter und Stäbe) sowie die Herstellung zahlreicher Prototypenbauteile.

Zusätzlich entstanden Mehrkosten im Bereich der Personalkosten.

## II.3 Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten, Untersuchungen und Technologieentwicklungen sind ausschließlich vorwettbewerblicher Natur.

Die durchgeführten Untersuchungen umfassten anwendungsorientierte Forschungsarbeit, in die grundlegend neue Erkenntnisse in erheblichem Maße einfließen konnten. Die vorgelagerte wissenschaftliche Grundlagenermittlung bildete die Basis für die anschließende demonstrative Anwendung.

Das Vorhaben konnte nicht aus der Grundfinanzierung der Johne & Groß GmbH realisiert werden.

## II.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die geplanten Ziele werden voraussichtlich nach Projektende erreicht.

Aus unternehmerischer Sicht liegt der Fokus der Ergebnisverwertung weiterhin kurz- bis mittelfristig (optimistisch im zweiten Jahr nach Projektende) auf dem Verkauf der Bewehrungselemente. Langfristig (etwa drei Jahre nach Projektende) soll – wie geplant – die Anlagentechnik weiterentwickelt werden, sodass die Ergebnisverwertung ausgeweitet werden kann.

Hierfür bestehen bereits konkrete Anfragen, jedoch sind noch mittelgroße Investitionen in die Technologieoptimierung und Qualitätssicherung erforderlich – insbesondere zur Funktionstüchtigkeit unter verschiedenen Umgebungsbedingungen sowie zur Sicherung der Arbeitssicherheit.

Der erste unmittelbare Verkauf der Bewehrungselemente hängt weiterhin von den erforderlichen Zulassungen im Einzelfall (ZiE) für konkrete Carbonbetonbauteile ab.

Wie in Tabelle 1 dargestellt, ergeben sich keine Abweichungen zum ursprünglichen Verwertungsplan. Die geplanten wirtschaftlichen Ziele können voraussichtlich erreicht werden.

Tabelle 1: Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Ursprünglicher Zeithorizont	Derzeitiger Zeithorizont
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten der Verwertung			
1	Schaffung neuer Arbeitsplätze	Ab 2026	Ab 2026
2	Steigerung des Vertriebs von nichtmetallischer Bewehrung und damit einhergehende Umsatzsteigerung.	Ab 2026	Ab 2026
3	Verbesserung der Wettbewerbssituation infolge neuer Produkte.	Ab 2026	Ab 2026

## II.5 Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens während der Durchführung

Außerhalb des Forschungsprojekts sind derzeit keine vergleichbaren Studien oder Vorhaben bekannt, die sich sowohl mit dem Vertrieb umgeformter Carbonbewehrung als auch mit der Technologieentwicklung in diesem Bereich befassen.

## II.6 Veröffentlichungen

Die Ergebnisse wurden bereits über eine technische Information zu den CFK-Formgittern auf der Website der J&G veröffentlicht. Zudem erscheinen die Projektergebnisse in diesem Sachbericht sowie in den gemeinsam erarbeiteten Handlungsempfehlungen, die in der Technischen Informationsbibliothek zugänglich gemacht werden.

Darüber hinaus werden die Ergebnisse aus den Versuchen an biegesteifen Ecken, CFK-Transportankern und dem Masterelement ISC-Modulbrücke als Anhang zu den Handlungsempfehlungen veröffentlicht.

Zusätzlich ist ein gemeinsamer Fachartikel mit den Bündnispartnern in der Fachzeitschrift Beton- und Stahlbetonbau erschienen.:

K. Aldermann, A. Schumann, T. Rudloff, K. Zernsdorf, R. Wiel, H. Michler: *Industriestandard Carbonbeton – durch Standards in eine ressourcenschonende Art des Bauens*. Beton- und Stahlbetonbau 2023, 118, 757, 2023.